

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-223384

(43)Date of publication of application : 17.08.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01S 5/183

(21)Application number : 2000-030551

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 08.02.2000

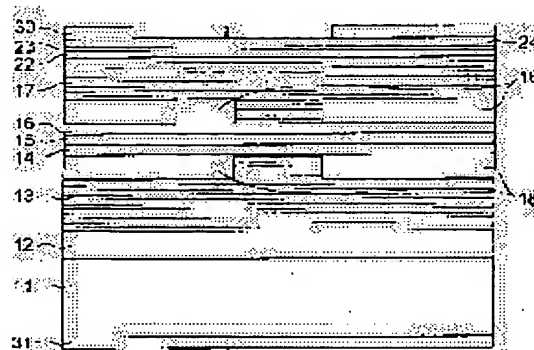
(72)Inventor : SAEKI AKIRA

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface-emission type semiconductor light-emitting element of InGaAlP wherein constant light emission is provided at high efficiency.

SOLUTION: By forming a transparent electrode of sufficient conductivity, a current is evenly fed in the longitudinal direction of an element to an opening part of a surface electrode. By providing a contact layer where a carbon is doped under the transparent electrode, a contact resistance to the transparent electrode comprising oxide such as ITO is significantly reduced. Further, by providing a contact layer where a carbon is doped by a specified amount at a place comprising Zn and the like, a contact resistance to an ITO electrode is reduced. A carbon does not diffuse, like a zinc, to degrade an element characteristics. Further, by inserting an intermediate band gap layer comprising such band gap as something between the contact layer and a clad layer, band discontinuity of a balance band is relaxed to promote flow into a positive hole to decrease an element resistance.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-223384

(P2001-223384A)

(43) 公開日 平成13年 8 月17日 (2001. 8. 17)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

B 5 F 0 4 1

H 0 1 S 5/183

H 0 1 S 5/183

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-30551(P2000-30551)

(22) 出願日 平成12年 2 月 8 日 (2000. 2. 8)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 佐 伯 亮

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株

式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン

ター内

(74) 代理人 100064285

弁理士 佐藤 一雄 (外 3 名)

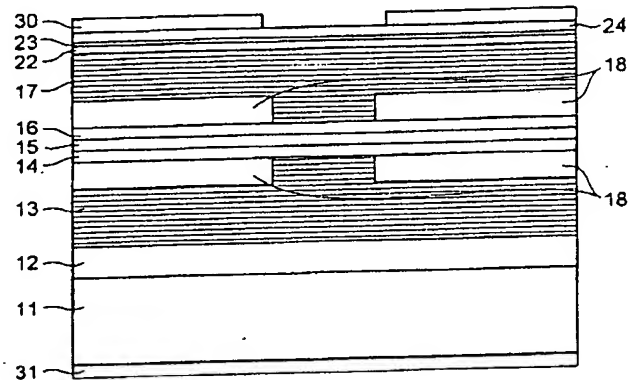
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 均一な発光を高い効率で取り出すことができる InGaAlP 系面発光型の半導体発光素子を提供することにある。

【解決手段】 十分な導電性を有する透明電極を形成することにより、表面電極の開口部において素子の縦方向に均一に電流を注入することができる。また、透明電極の下に炭素をドーピングしたコンタクト層を設けることにより、ITOなどの酸化物からなる透明電極に対する接触抵抗を大幅に低減することができる。さらに、Znなどを用いた場所定量の炭素をドーピングしたコンタクト層を設けることにより、ITO電極との接触抵抗を低下させることができる。炭素は亜鉛のように拡散して素子特性を劣化させることもない。さらに、コンタクト層とクラッド層との中間的なバンドギャップを有する中間バンドギャップ層を介在させることにより価電子帯のバンド不連続を緩和して正孔の流入を促進させ、素子抵抗を低下させることができる。



FS入力済

【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 導電型の半導体からなる基板と、
前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、
前記第 1 の光反射層の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、
前記活性層の上に設けられた第 2 導電型の半導体からなる第 2 の光反射層と、
前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、
前記第 2 の光反射層の上に設けられた透光性電極と、
前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する表面電極と、
前記基板の裏面に設けられた裏面電極と、
を備え、
前記表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光が前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層との間で繰り返し反射されると共に、前記発光を前記表面電極の前記開口における前記透光性電極を介して外部に取り出すようにしたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】前記電流狭窄層は、前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層の少なくともいずれかを部分的に酸化させることにより形成したものであることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】前記電流狭窄層は、前記第 2 の光反射層の一部にプロトンやイオン注入することにより形成したものであることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】第 1 導電型の半導体からなる基板と、
前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、
前記第 1 の光反射層の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、
前記活性層の上に設けられ前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、
前記電流狭窄層及び前記電流狭窄層の前記開口における前記活性層の上に設けられた透光性電極と、
前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する表面電極と、
前記表面電極の前記開口において前記透光性電極の上に設けられた第 2 の光反射層と、
前記基板の裏面に設けられた裏面電極と、
を備え、
前記表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光を前記表面電極の前記開口における前記透光性電極及び前記第 2 の光反射層を介して外部に取り出すようにしたことを特徴とする半

導体発光素子。

【請求項 5】基板と、
前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、
前記第 1 の光反射層の上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 導電型半導体層と、
前記第 1 導電型半導体層の第 1 の部分の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、
前記活性層の上に設けられ前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、
前記電流狭窄層及び前記電流狭窄層の前記開口における前記活性層の上に設けられた透光性電極と、
前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する第 1 の表面電極と、
前記第 1 の表面電極の前記開口において前記透光性電極の上に設けられた第 2 の光反射層と、
前記第 1 導電型半導体層の前記第 1 の部分とは異なる第 2 の部分の上に設けられた第 2 の表面電極と、
を備え、

前記第 1 の表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光が前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層との間で繰り返し反射されるようにしたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 6】前記繰り返し反射された前記発光が前記第 2 の光反射層を介して外部に取り出されることを特徴とする請求項 5 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】前記繰り返し反射された前記発光が前記基板を介して外部に取り出されることを特徴とする請求項 5 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】前記電流狭窄層は、酸化シリコンまたは窒化シリコンのいずれかを主成分とすることを特徴とする請求項 4～7 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

【請求項 9】前記第 2 の光反射層は、2 種類以上の異なる誘電体層を交互に積層させたものであることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】前記活性層と前記透光性電極との間において前記透光性電極に接触して設けられた、炭素を含有する半導体からなるコンタクト層をさらに備えたことを特徴とする請求項 1、4 及び 5 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

【請求項 11】前記コンタクト層は、前記炭素を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含有することを特徴とする請求項 10 記載の半導体発光素子。

【請求項 12】前記コンタクト層と前記活性層との間に、前記コンタクト層よりもバンドギャップが大きく、前記活性層の側に隣接した半導体層よりもバンドギャップが小さい中間バンドギャップ層が設けられたことを特徴とする請求項 1、4 及び 5 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関し、より詳細には、本発明は、InGaIPを用いた発光素子構造に関するもので、特に光リンクデバイス用などに用いて好適な面発光型の半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】InGaIP系材料を用いた面発光型の半導体素子は、一般には、n型のGaAs基板上に形成され、発光層の上下に半導体多層膜からなる光反射層を備える。このような面発光型の素子のうちで、レーザ発振をしないLED (Light Emitting Diode) は、「共鳴キャビティ型 (Resonant Cavity) LED」などと称され、共鳴構造を有しない通常のLEDと比較すると単色性が極めて優れている。また、レーザ発振するものは、垂直キャビティ型レーザダイオード (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) などと称され、スポットサイズの大きいレーザビームを得られるという特徴を有する。

【0003】図12は、従来の面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、n型GaAs基板101の上には、n型GaAsバッファ層102、n型半導体からなる多層膜光反射層103、n型InGaIPクラッド層104、InGaIP活性層105、p型InGaIPクラッド層106、p型半導体からなる多層膜光反射層107、が積層され、クラッド層104、106の上下には選択酸化により高抵抗化された電流狭窄層108がそれぞれ設けられている。そして、表面電極110と裏面電極111との間に供給する電流は、電流狭窄層108の開口部に集中し、発光を生ずる。得られた発光は、表面電極110の開口を介して上方に取り出される。

【0004】また、図13は、従来の面発光型半導体発光素子のもうひとつの例を表す概念断面図である。同図については、図12と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。図13の発光素子においては、選択酸化による代わりにプロトンイオンを注入することにより高抵抗化された電流狭窄層109が設けられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図12および図13に例示したような従来の面発光型の半導体発光素子の動作特性には、多くの問題点があった。

【0006】第1の問題は、活性層105の上に設けられたp型半導体からなる半導体多層膜光反射層107に起因する。図12及び図13の構造においては共に、電流は活性層の上の光反射層107を積層構造に対して垂直方向に流れ、且つ電流狭窄層108により狭窄される。このとき、光反射層107は、積層方向に対して垂直方向にも水平方向にも電気抵抗が高く、電流が流れにくい。そのために、従来の面発光型の発光素子は、直列

抵抗値が高く、動作電圧が高い。また、抵抗による発熱が大きき、温度特性も十分なものではなかった。

【0007】また、第2の問題は、電流狭窄層108の開口と表面電極110の開口との位置あわせマージンが極めて小さいことがある。という問題があった。

【0008】図14～図16は、従来の面発光型の半導体発光素子における駆動電流の分布を表す概念図である。すなわち、図14(a)に例示したように、表面電極110の開口径d1に対して電流狭窄層108の開口径d2がかなり小さい場合、すなわち、 $d1 \gg d2$ の場合には、電極110から供給される電流のうちでp型の光反射層107を横方向に流れる成分が増え、且つ開口の中央付近まで到達する電流成分が極めて少なくなる。このために、図14(b)に表したように、電流は電流狭窄層108の開口d2の周辺部付近に流れ、発光分布は開口の周辺部に偏った不均一なものとなる。

【0009】これに対して、図16に表したように、表面電極110の開口径d1が電流狭窄層108の開口径d2以下 ($d1 \leq d2$) になると、開口の端部において表面電極110から直下の最短経路を流れる電流成分が激増し、同図(b)に点線で表したように、開口の周辺部において発光が集中する。しかし、この部分の発光は、表面電極110に遮られるために外部に取り出すことができず、同図(b)に実線で表したように外部において観察される発光強度は、低くて不均一なものとなる。

【0010】これらに対して、図15は、発光強度の分布を改善した場合を表す。つまり、表面電極110の開口径d1が電流狭窄層108の開口径d2よりもやや大きい ($d1 > d2$) 程度に調節すると、表面電極から供給される電流は開口の中央付近まである程度拡散し、表面電極110に遮られることなく、外部に取り出すことができる。

【0011】しかし、このようにある程度均一な発光を外部に取り出すためには、表面電極110の開口径d1が電流狭窄層108の開口径d2よりも所定の寸法だけわずかに大きくなるように、両者を精密に形成する必要がある。

【0012】図12に例示したように電流狭窄層108を選択酸化により形成する場合には、酸化反応の進行を精密に制御することは容易でなく、図15に例示したような構造を高い再現性で形成することができないという問題があった。

【0013】一方、図13に例示したように電流狭窄層108をプロトンイオン注入により形成する場合には、寸法の制御は容易であるが、狭窄層108の上においてオーミック接触を形成することが困難になるという問題が生ずる。つまり、プロトンイオン注入を素子の発光面側から行うこととすると、狭窄層108の上の半導体層の部分にもイオン注入による変質が生じやすい。その結

5

果として、この部分において表面電極 110 とのオーミックコンタクトを確保することが困難となり、素子に電流を流すことができなくなる。この問題を避けるために、表面電極 110 を電流狭窄層 108 よりも内側にはみ出させると、図 16 に表したような問題が生ずる。

【0014】本発明は、かかる課題の認識に基づいてなされたものである。すなわち、その目的は、均一な発光を高い効率で取り出すことができる面発光型の半導体発光素子を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の第 1 の半導体発光素子は、第 1 導電型の半導体からなる基板と、前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、前記第 1 の光反射層の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、前記活性層の上に設けられた第 2 導電型の半導体からなる第 2 の光反射層と、前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、前記第 2 の光反射層の上に設けられた透光性電極と、前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する表面電極と、前記基板の裏面に設けられた裏面電極と、を備え、前記表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光が前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層との間で繰り返し反射されると共に、前記発光を前記表面電極の前記開口における前記透光性電極を介して外部に取り出すようにしたことを特徴とする。

【0016】ここで、前記電流狭窄層は、前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層の少なくともいずれかを部分的に酸化させることにより形成したものとすることができる。

【0017】または、前記電流狭窄層は、前記第 2 の光反射層の一部にプロトンやイオン注入することにより形成したものとすることができる。

【0018】一方、本発明の第 2 の半導体発光素子は、第 1 導電型の半導体からなる基板と、前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、前記第 1 の光反射層の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、前記活性層の上に設けられ前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、前記電流狭窄層及び前記電流狭窄層の前記開口における前記活性層の上に設けられた透光性電極と、前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する表面電極と、前記表面電極の前記開口において前記透光性電極の上に設けられた第 2 の光反射層と、前記基板の裏面に設けられた裏面電極と、を備え、前記表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光を前記

6

表面電極の前記開口における前記透光性電極及び前記第 2 の光反射層を介して外部に取り出すようにしたことを特徴とする。

【0019】また、本発明の第 3 の半導体発光素子は、基板と、前記基板の主面上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 の光反射層と、前記第 1 の光反射層の上に設けられた第 1 導電型の半導体からなる第 1 導電型半導体層と、前記第 1 導電型半導体層の第 1 の部分の上に設けられた InGaAlP 系半導体からなる活性層と、前記活性層の上に設けられ前記活性層に流入する電流を狭窄するための開口を有する電流狭窄層と、前記電流狭窄層及び前記電流狭窄層の前記開口における前記活性層の上に設けられた透光性電極と、前記透光性電極の上に設けられ前記活性層からの発光を取り出す開口を有する第 1 の表面電極と、前記第 1 の表面電極の前記開口において前記透光性電極の上に設けられた第 2 の光反射層と、前記第 1 導電型半導体層の前記第 1 の部分とは異なる第 2 の部分の上に設けられた第 2 の表面電極と、を備え、前記第 1 の表面電極の前記開口における前記透光性電極から供給され前記電流狭窄層の前記開口に狭窄された電流によって前記活性層において生じた発光が前記第 1 の光反射層と前記第 2 の光反射層との間で繰り返し反射されるようにしたことを特徴とする。

【0020】前記第 3 の半導体発光素子においては、前記繰り返し反射された前記発光が前記第 2 の光反射層を介して外部に取り出されるものとすることができる。

【0021】または、前記繰り返し反射された前記発光が前記基板を介して外部に取り出されるようにしても良い。

【0022】また、前記第 2 乃至第 3 の半導体発光素子において、前記電流狭窄層は、酸化シリコンまたは窒化シリコンのいずれかを主成分とすることができる。

【0023】また、前記第 2 乃至第 3 の半導体発光素子において、前記第 2 の光反射層は、2 種類以上の異なる誘電体層を交互に積層させたものとすることができる。

【0024】また、前記第 1 乃至第 3 の半導体発光素子において、前記活性層と前記透光性電極との間において前記透光性電極に接触して設けられた、炭素を含有する半導体からなるコンタクト層をさらに備えたものとすることができる。

【0025】さらに、前記コンタクト層は、前記炭素を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含有するものとすることが望ましい。

【0026】一方、前記第 1 乃至第 3 の半導体発光素子において、前記コンタクト層と前記活性層との間に、前記コンタクト層よりもバンドギャップが大きく、前記活性層の側に隣接した半導体層よりもバンドギャップが小さい中間バンドギャップ層が設けられたものとすることができる。

【0027】ここで、本願において「InGaAlP 系半導

体」とは、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$, $x + y + z = 1$) なる組成式により表されるすべての組成範囲の III-V 族化合物半導体を含み、さらに、これらの化合物半導体に n 型ドーパントや p 型ドーパントなどの添加元素を含有したすべての化合物半導体を含むものとする。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0029】（第 1 の実施の形態）図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、n 型 GaAs 基板 11 の上には、n 型 GaAs バッファ層 12、n 型半導体からなる多層膜光反射層 13、n 型 InGaAlP クラッド層 14、InGaAlP 活性層 15、p 型 InGaAlP クラッド層 16、p 型半導体からなる多層膜光反射層 17、が積層され、クラッド層 14、16 の上下には選択酸化により高抵抗化された電流狭窄層 18 がそれぞれ設けられている。

【0030】ここで、多層膜光反射層 13、17 は、それぞれ、互いに屈折率が異なる 2 種類以上の半導体層を交互に積層させたブラッグ反射鏡としての構成を有する。具体的には、例えば、InAlP 層と InGaP 層を交互に積層させたものや、InAlP 層と InGaAlP 層を交互に積層させたもの、あるいは、GaAs 層と GaAlAs 層を交互に積層させたものなどを挙げることができる。

【0031】さらに、多層膜光反射層 17 の上には、p 型 GaAlAs 中間バンドギャップ層 22、p 型 GaAs : C（炭素ドープ）コンタクト層 23、透明電極 24 が積層されている。そして、素子の光取り出し側の表面には所定の開口を有する表面電極 30 が形成され、素子の裏面側には裏面電極 31 が形成されている。表面電極 30 と裏面電極 31 は、金 (Au) などの金属からなる。

【0032】以上の構成のうちで、基板 11 と透明電極 24 を除く部分は、例えば、MOCVD 法 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属化学気相成長法) によりエピタキシャル成長させることができる。MOCVD 法による場合には、原料として、TMG (トリメチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMI (トリメチルインジウム) などの有機金属と、アルシン (AsH_3)、フォスフィン (PH_3) などの水素化物ガスを用いることができる。また、n 型の半導体層を形成する際には、例えばシラン (SiH_4) を添加することによりシリコンなどの不純物をドーピングする。p 型の半導体層を形成する際には、例えば DMZ (ジメチル亜鉛) を添加することにより亜鉛などの不純物をドーピングする。また、中間バンドギャップ層 22 とコンタクト層 23 を成長する際には、四臭化炭素 (CBr_4) などのガスを添加することにより炭素をドーピングする。また、活性層 15 の組成は、所定の発光波長が得られるように調節する。

【0033】MOCVD 法による場合の成長温度は、例えば

700℃とすることができる。MOCVD 法による成長の後に、水蒸気酸化法などの手法により光反射層の一部を選択的に酸化させて電流狭窄層 18 を形成する。

【0034】その後、透明電極 24 を形成する。透明電極 24 は、例えば、ITO (Indium Tin Oxide: 酸化インジウム錫) や、酸化インジウム、酸化錫、酸化亜鉛などの材料により形成することができ、その堆積方法としては、例えば、スパッタリング法を用いることができる。

【0035】図 2 (a) は本実施形態の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、図 2 (b) はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【0036】本発明によれば、十分な導電性を有する透明電極 24 を形成することにより、図 2 (a) に表したように、表面電極 30 の開口部において素子の縦方向に均一に電流を注入することができる。その結果として、同図 (b) に表したようにほぼ均一な分布を有する発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

【0037】また、本発明によれば、表面電極 30 の開口径 d1 と電流狭窄層 18 の開口径 d2 との間のサイズや位置関係に関わらずに均一な発光を取り出すことができる。つまり、図 14 乃至図 16 に例示したような従来の問題を解消することができる。

【0038】より具体的には、本発明の発光素子においては、表面電極 24 の開口径 d1 が狭窄層 18 の d2 よりも大きくなるように形成すれば、図 14 に例示したような問題を生ずることなく、また、電流の注入により生ずる発光を表面電極 30 により遮ることもなく、発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

【0039】また、本発明においては、透明電極 24 の下に炭素をドープしたコンタクト層 23 を設けることにより、ITO などの酸化物からなる透明電極 24 に対する接触抵抗を大幅に低減することができる。すなわち、ITO などの透光性電極に対して十分に低い接触抵抗を得るためには、コンタクト層のキャリア濃度を高くする必要がある。しかし、本発明者の実験の結果、p 型のドーパントとして亜鉛 (Zn) などの II 族元素を高濃度にドーピングすると、活性層 15 に拡散して発光特性を劣化させるという問題が生ずる場合があった。

【0040】これに対して、本発明によれば、p 型のドーパントとして炭素 (C) を用いることにより、活性層への拡散を抑制することができる。

【0041】本発明者は、コンタクト層 23 に対する炭素のドーピングの効果について詳細に調べた。

【0042】図 3 は、試作した評価用素子の構造を表す概略構成図である。

【0043】また、図 4 は、これら評価用素子の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【0044】評価用素子は、図 3 に表したように、p 型 GaAs 基板 211 の上にコンタクト層 23 と ITO 電極 24 とを積層させた構造を有する。ここでは、コンタ

クト層 23 に対する炭素のドーピング量をそれぞれ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とした 3 種類の素子を試作した。また、p 型 GaAs 基板 211 の層厚は約 $250 \mu\text{m}$ とした。そして、この評価用素子に、図 4 に示したように ITO 電極 24 とコンタクト層 23 との接合について逆方向となるように電圧を印加した。この電圧極性は、発光素子においては順方向電圧に対応する。

【0045】その結果、図 4 に示したように、炭素のドーピング量が増えるほど素子抵抗が低下し、特に、ドーピング量を約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くすると急激に素子抵抗が低下する傾向が見られた。すなわち、炭素のドーピング量を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることにより、素子抵抗を顕著に低下させることが分かった。

【0046】一方、本発明においては、光反射層 17 とコンタクト層 23 との間に両者の中間的なバンドギャップを有する中間バンドギャップ層 22 を設けることにより、価電子帯でのバンド不連続に起因するキャリアのバリエーションを防止し、素子抵抗を低減することができる。

【0047】図 5 は、本発明の発光素子の透明電極の近傍のバンド構造を表す概略図である。同図に表したように、炭素を多量にドーピングしたコンタクト層 23 と p 型光反射層 17 の一部である InAlP 層の価電子帯エネルギー E_v は、約 0.6 eV のずれを有する。このまま両者を接合させるとその界面において価電子帯の不連続による高い障壁が形成され、順方向電圧を印加した時に、正孔の流入が阻止されて抵抗が増大するという問題が生ずる。これに対して、本発明においては、図示したように、コンタクト層 23 と光反射層 17 との間に両者の中間程度のバンドギャップを有する中間バンドギャップ層 22 を設ける。こうすることにより、価電子帯バンドの不連続が緩和され、正孔の流入を促進して順方向バイアスに対する素子抵抗を低減することができる。

【0048】例えば、光反射層 17 の最上層が InAlP により構成され、コンタクト層 23 が GaAs により構成される場合には、中間バンドギャップ層 22 は、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ においてアルミニウムの組成比 x が $0.5 \sim 0.7$ の範囲にあることが望ましい。この組成範囲においては、InAlP 層 17 と中間バンドギャップ層 22 とコンタクト層 23 との接合面にそれぞれ形成される価電子帯のバンド不連続量を約 0.3 eV 程度に抑制することが可能となり、正孔のバリエーションを防いで素子抵抗を低減することができる。

【0049】一方、中間バンドギャップ層 22 に対するドーパントとしては、炭素を用いることが望ましい。炭素は、前述したように拡散しにくく、亜鉛のような特性の劣化を引き起こさないからである。さらに、そのドーピング量は、素子抵抗を増大させないために、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることが望ましい。

【0050】次に、本実施形態の変型例について説明する。

【0051】図 6 は、本実施形態の変型例を表す断面概念図である。同図については、図 1 に関して前述した部分と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0052】本変型例の半導体発光素子は、プロトンイオン注入により形成した電流狭窄層 19 を有する。すなわち、基板 11 の上に、バッファ層 12 ～コンタクト層 23 までをエピタキシャル成長させ、しかる後に表面側からプロトンを選択的にイオン注入することにより高抵抗化させた電流狭窄層 19 を形成する。

【0053】図 7 (a) は本発明の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、図 7 (b) はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【0054】本変型例においても、透明電極 24 を設けることにより、電流狭窄層 19 の開口部に均一に縦方向の電流を流すことができ、均一な発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

【0055】また、本変型例においては、炭素をドーピングしたコンタクト層 23 を設けることにより、プロトンイオン注入した部分においても透明電極 24 との接触抵抗を十分に低減することが可能となる。

【0056】さらに、本変型例によれば、電流狭窄層 19 をプロトンイオン注入により形成するので、電流狭窄層 19 の開口形状すなわち素子の発光パターンを精密に制御することができるという効果も得られる。

【0057】(第 2 の実施の形態) 次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。

【0058】図 8 は、本実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。同図については、図 1 乃至図 7 に関して前述した部分と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0059】本実施形態の発光素子においては、p 型半導体からなる多層膜光反射層の代わりに、誘電体からなる多層膜光反射層 25 が素子の表面に設けられている。すなわち、素子の活性層 15 の上には、p 型クラッド層 16、中間バンドギャップ層 22、炭素ドーピングコンタクト層 23 がこの順に積層され、その上には、開口を有する電流狭窄層 29 が設けられている。そして、この上に、透明電極 24 が形成され、さらにその上に、開口を有する表面電極 30 が形成され、開口部には光反射層 25 が設けられている。光反射層 25 は、屈折率が互いに異なる 2 種類あるいはそれ以上の誘電体層を交互に積層させたブラッグ反射鏡の構成を有する。

【0060】図 9 (a) は本発明の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、図 9 (b) はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【0061】本実施形態においても、透明電極 24 を設けることにより、電流狭窄層 29 の開口部に均一に縦方

向の電流を流すことができ、均一な発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

【0062】また、本実施形態においては、光反射層25を透明電極24の上に形成するので、p型半導体からなる光反射層が不要となる。このために、素子抵抗を大幅に低減し、動作電圧を低下させることができる。

【0063】また、本実施形態においては、光反射層25を透明電極24の上に形成するので、半導体をエピタキシャル成長させる必要がない。従って、各種の誘電体材料を適宜組み合わせることにより、高い反射率を有する反射層を容易且つ確実に形成することができる。具体的には、例えば、TiO₂層とSiO₂層とを交互に積層させた構造を採用することができる。

【0064】また、本実施形態においては、電流狭窄層29も炭素ドーブコンタクト層23の上に形成するので、半導体をエピタキシャル成長させる必要がなく、さらに、選択酸化やプロトンイオン注入も不要となる。これらの代わりに、例えばSiO₂やSiNなどの高抵抗の材料を用いることにより、容易且つ確実に電流狭窄効果を得ることができる。

【0065】(第3の実施の形態)次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。

【0066】図10は、本実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。同図については、図1乃至図9に関して前述した部分と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0067】本実施形態の発光素子においては、n型クラッド層14が素子の表面側において部分的に露出され、その表面にn側電極32が設けられている。

【0068】本実施形態においても、第2実施形態に関して前述したものと同様の効果を得ることができる。

【0069】さらに、本実施形態においては、半導体素子のn側電極32から供給される電流は、n型クラッド層14を面内方向に拡散し、しかる後に電流狭窄層29の開口部を介して縦方向に透明電極24に流れる。つまり、活性層15のn側においても、電流経路に光反射層13が介在せず、素子抵抗をさらに低下させ、動作電圧を低減することができる。

【0070】また、図示した例とは別に、n型クラッド層14の下に低抵抗のn型コンタクト層を設け、このコンタクト層を素子の表面側に部分的に露出させてその表面にn側電極32を形成しても良い。このようにすれば、n側の接触抵抗及び素子抵抗をさらに低減することが可能となる。

【0071】(第4の実施の形態)次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。

【0072】図11は、本実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。同図については、図1乃至図10に関して前述した部分と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0073】本実施形態においては、GaPからなる基板27の上にInGaAlP接着層28が設けられ、さらにその上に、第3実施形態と同様の構造の素子部が形成されている。この構成においては、活性層15から放出された光は、GaP基板27を介して裏面側に取り出される。

【0074】本実施形態の発光素子の製造の手順を簡潔に説明すると以下の如くである。

【0075】まず、図示しないGaAs基板上にGaAsバッファ層、n型半導体多層膜光反射層13、InGaAlP接着層18をこの順に成長させる。

【0076】次に、接着層18の表面にGaP基板27を接着する。接着の方法としては、例えば、水素雰囲気中でこれらの層を接触、加圧し、加熱することにより、結合させる方法を挙げることができる。しかる後に、GaAs基板とGaAsバッファ層をエッチングにより除去する。

【0077】そして、光反射層13の上に、n型クラッド層14～炭素ドーブコンタクト層23までを成長させ、この一部を表面側から選択的にエッチングしてn型クラッド層14を部分的に露出させる。

【0078】さらに、電流狭窄層29、透明電極24、表面電極30、光反射層25、n側電極32を形成して素子が完成する。

【0079】本実施形態においても、第1乃至第3実施形態に関して前述したものと同様の効果を同様に得ることができる。

【0080】さらに、本実施形態においては、活性層15からの発光波長において透明なGaP基板27を用いることにより、基板27を介して発光を外部に取り出すことができる。

【0081】その結果として、素子の表面側を図示しない実装部材にマウントする、いわゆる「フリップチップ実装」が可能となり、半導体発光素子を用いた各種装置の小型化、軽量化、高性能化、高信頼性化などが可能となる。

【0082】

【発明の効果】本発明は、以上に説明した形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0083】まず、本発明によれば、十分な導電性を有する透明電極を形成することにより、表面電極の開口部において素子の縦方向に均一に電流を注入することができる。その結果として、ほぼ均一な分布を有する発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

【0084】また、本発明によれば、表面電極の開口径と電流狭窄層の開口径との間のサイズや位置関係に関わらずに均一な発光を取り出すことができる。つまり、本発明の発光素子においては、表面電極の開口径が狭窄層の開口径よりも大きくなるように形成すれば、図14に例示したような問題を生ずることなく、また、電流の注入により生ずる発光を表面電極24により遮ることもなく、発光を高い効率で外部に取り出すことができる。

13

【0085】また、本発明においては、透明電極の下に炭素をドーブしたコンタクト層を設けることにより、IT 0などの酸化物からなる透明電極に対する接触抵抗を大幅に低減することができる。さらに、Znなどを用いた場合のように発光特性の劣化が生ずることもない。

【0086】さらに、本発明によれば、光反射層とコンタクト層との間に両者の中間的なバンドギャップを有する中間バンドギャップ層22を設けることにより、価電子帯でのバンド不連続に起因するキャリアのバイルアップを防止し、素子抵抗を低減することができる。

【0087】また、本発明によれば、光反射層を透明電極の上に形成することにより、半導体をエピタキシャル成長させる必要がなくなり、各種の誘電体材料を適宜組み合わせることにより、高い反射率を有する反射層を容易且つ確実に形成することができる。具体的には、例えば、TiO₂層とSiO₂層とを交互に積層させた構造を採用することができる。

【0088】また、本発明によれば、電流狭窄層もコンタクト層の上に形成することにより、半導体をエピタキシャル成長させる必要がなくなり、選択酸化やプロトンイオン注入も不要となる。これらの代わりに、例えばSiO₂やSiNなどの高抵抗の材料を用いることにより、容易且つ確実に電流狭窄効果を得ることができる。

【0089】以上説明したように、本発明によれば、均一な発光を高い効率で外部に取り出すことが可能となり、素子抵抗が低減され、発光特性や寿命特性が優れたInGaAlP系発光素子を提供することができるようになり、産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図2】(a)は本発明の第1実施形態の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、(b)はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【図3】本発明者が試作した評価用素子の構造を表す概略構成図である。

【図4】評価用素子の電流電圧特性を表すグラフ図である。

【図5】本発明の発光素子の透明電極の近傍のバンド構造を表す概略図である。

【図6】本発明の第1実施形態の変型例を表す断面概念図である。

14

【図7】(a)は本発明の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、(b)はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【図8】本発明の第2実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図9】(a)は本発明の発光素子における電流の流れを表す概念図であり、図9(b)はその発光強度分布を表すグラフ図である。

【図10】本発明の第3実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図11】本発明の第4実施形態にかかる面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図12】従来の面発光型半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図13】従来の面発光型半導体発光素子のもうひとつの例を表す概念断面図である。

【図14】従来の面発光型の半導体発光素子における駆動電流の分布を表す概念図であり、表面電極110の開口径d1に対して電流狭窄層108の開口径d2がかなり小さい場合を表す。

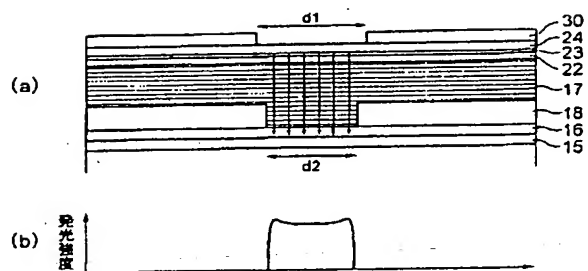
【図15】発光強度の分布を改善した場合を表し、表面電極110の開口径d1が電流狭窄層108の開口径d2よりもやや大きい(d1>d2)程度に調節された場合を表す。

【図16】表面電極110の開口径d1が電流狭窄層108の開口径d2以下である場合の駆動電流の分布を表す概念図である。

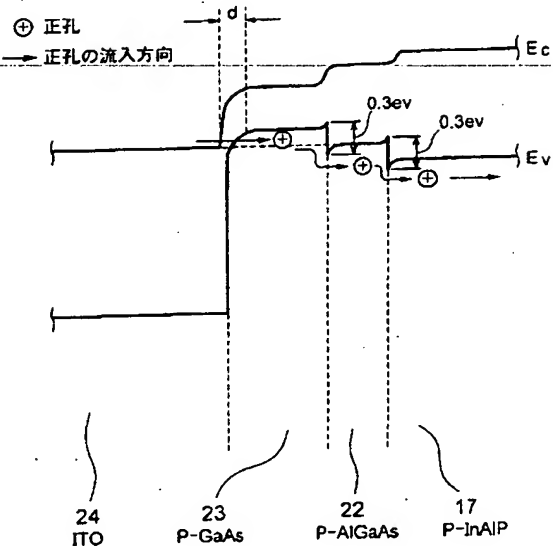
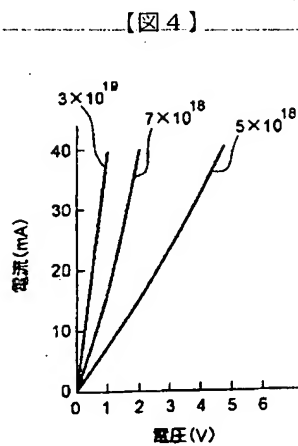
【符号の説明】

- 11、101 n型GaAs基板
- 12、102 n型GaAsバッファ層
- 13、103 多層膜光反射層
- 14、104 n型InGaAlPクラッド層
- 15、105 InGaAlP活性層
- 16、106 p型InGaAlPクラッド層
- 17、107 多層膜光反射層
- 18、19、29、108 電流狭窄層
- 22 p型GaAlAs中間バンドギャップ層
- 23 p型GaAs:Cコンタクト層
- 24 透明電極
- 30 表面電極
- 31 裏面電極

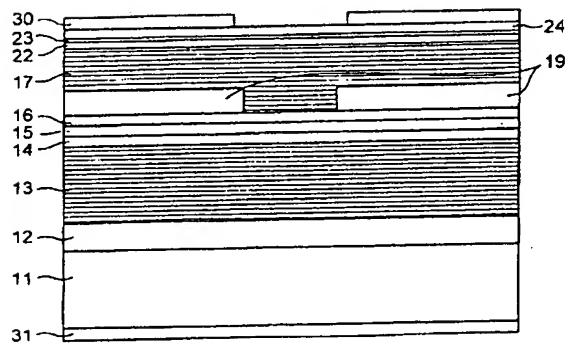
【図 2】



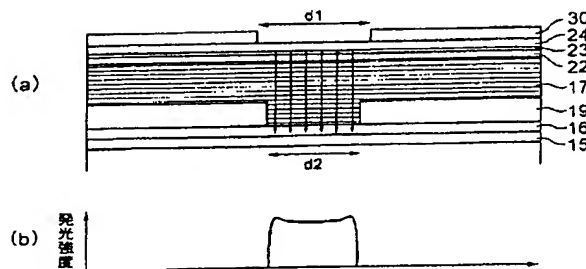
【図 5】



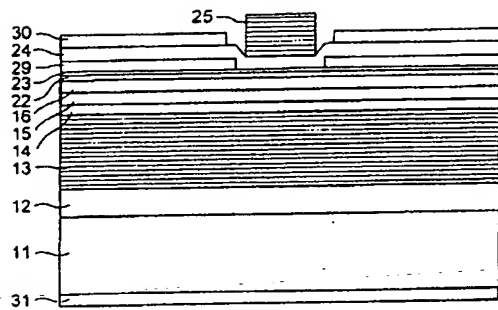
【図 6】



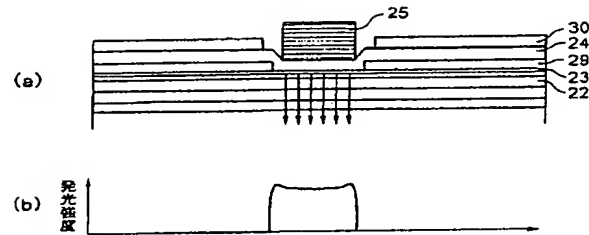
【圖 7】



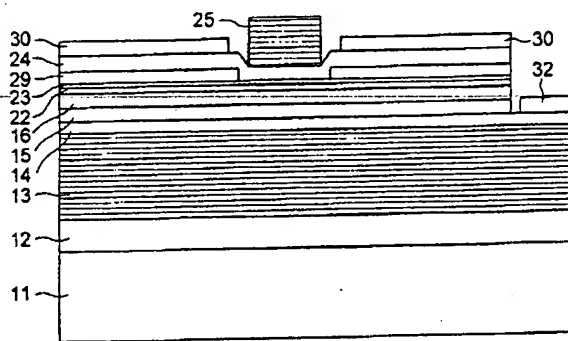
【図8】



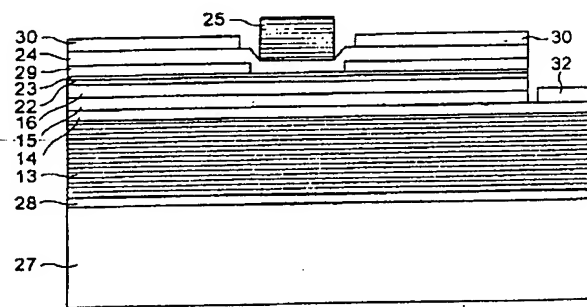
【図9】



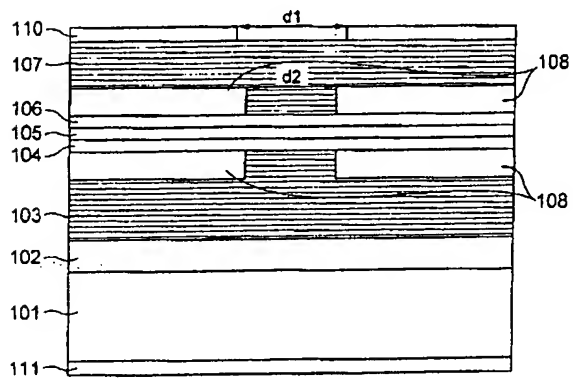
【図10】



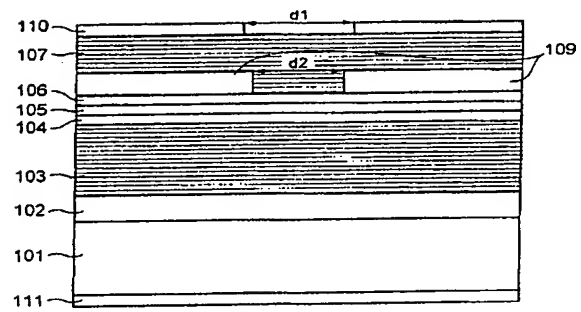
【図11】



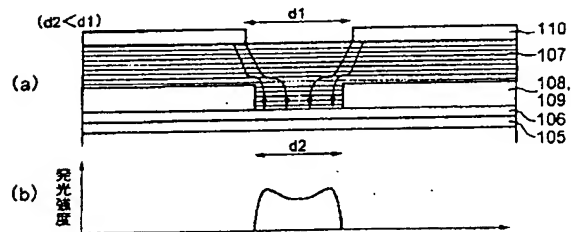
【図12】



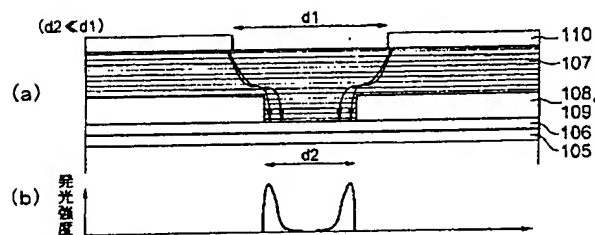
【図13】



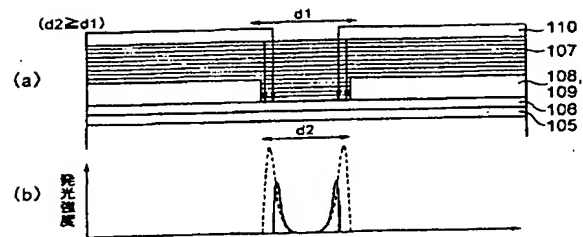
【図15】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA21 AA44 CA12 CA34
 CA35 CA36 CA53 CA57 CA65
 CA71-CA82-CA83-CA88-CB03
 CB04 CB15 FF16
 5F073 AA08 AB17 BA09 CA14 CB02
 CB22 CB23 DA05 DA21 EA28